

Temas Livres

Análise do impacto do rompimento da barragem de Fundão nos indicadores socioeconômicos e sustentáveis dos municípios atingidos

DOI: <https://doi.org/10.14244/agenda.2023.3.6>

 **Ebio Viana Meneses Neto**

Mestre Profissional em Administração Pública pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutorando em Administração pela UFV. Assistente em Administração da UFV.

E-mail: ebio.neto@ufv.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0909-1784>

 **Fernanda Maria de Almeida**

Doutora em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-Doc pela University of Glasgow. Professora Associada do Departamento de Administração e Contabilidade da UFV.

E-mail: fernanda.almeida@ufv.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9132-1552>

 **Evandro Rodrigues de Faria**

Doutor em Administração pela UFMG. Professor Adjunto do Departamento de Administração e Contabilidade da UFV.

E-mail: evandroadm@ufv.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7982-3947>

RESUMO: O rompimento da barragem de rejeitos de minério ocorrido em 5 de novembro de 2015, na cidade de Mariana, em Minas Gerais, foi um dos maiores desastres ecológicos da história do Brasil. Cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos foram lançados ao meio ambiente, sem quaisquer perspectivas de mitigação do impacto ambiental pela mantenedora da barragem, o que confronta aos burocráticos critérios de sustentabilidade impostos pelo governo federal, estadual e municipal. Diante deste cenário, objetiva-se analisar o impacto do rompimento da barragem nos indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade dos municípios mineiros atingidos diretamente pelos rejeitos, contrapondo aos não atingidos. Ao utilizar os métodos de análise fatorial para aglutinação das variáveis e os testes de escores de propensão e diferenças em diferenças para a análise comparada entre os municípios, foi possível perceber que o PIB per capita é bem menor entre os municípios atingidos, o que mostra um baixo desenvolvimento local entre eles. Ainda, estes municípios possuem uma maior concentração de famílias com renda de até ½ salário mínimo e menor compensação financeira por utilização de recursos hídricos. De forma a subsidiar discussões teóricas e empíricas sobre a gestão dos municípios atingidos pelos rejeitos da barragem de Fundão, o presente trabalho torna-se relevante ao analisar comparativamente os indicadores socioeconômicos entre os municípios atingidos (tratados) e todos os outros de Minas Gerais (controle), de forma a contribuir para a identificação de pontos críticos do desenvolvimento municipal ao longo dos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores Socioeconômicos; Sustentabilidade; Escores de Propensão; Diferenças em Diferenças; Desastres ambientais.

Recebido em: 21/03/2023

Aprovado em: 24/01/2024



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

1 Introdução

O rompimento da barragem de rejeitos de minério localizada no município de Mariana, Minas Gerais, foi, em 5 de novembro de 2015, um dos maiores desastres ecológicos da história do Brasil (IBAMA, 2022). Cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos foram alçados ao meio ambiente, sem quaisquer perspectivas de mitigação do impacto ambiental pela mantenedora da barragem, o que confronta aos burocráticos critérios de sustentabilidade impostos pelo governo federal, estadual e municipal (IBAMA, 2022; Labonne, 2016;). Neste sentido, objetiva-se analisar o impacto do rompimento da barragem para os municípios mineiros que tiveram algum dano causado pelos rejeitos, contrapondo aos não atingidos diretamente, nos indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade.

Sobre indicadores de vulnerabilidade socioeconômica para casos de desastres, De Silva e Kawasaki (2018) afirmam que o impacto causado por inundações é maior para pessoas de baixa renda em comunidades rurais do Sri Lanka, o que influencia o governo a encontrar possibilidades de complementação financeira fora do ambiente agrícola para as famílias que se sustentam destes recursos naturais. Em consonância, embora as perdas financeiras não contemplem a totalidade do impacto dos desastres, Marulanda, Cardona e Barbat (2010) afirmam que analisar as perdas econômicas para regiões que sofrem algum tipo de desastre é extremamente relevante para avaliar as consequências geradas para economia local e nacional, além de indicar quais políticas devem ser feitas para mitigar os problemas.

Já Dolman *et al.* (2018), a partir de uma pesquisa de análise do impacto socioeconômico de inundações em Rio Branco – Acre, apontam que os resultados para dados sociais e custos governamentais demonstram que as famílias mais vulneráveis são as que apresentam uma maior dificuldade de recuperação pós-ocorrência (inundação). Contudo, a particularidade da pesquisa de Dolman *et al.* (2018) está associada à recorrência dos desastres, o que indica uma necessidade de mapeamento dos riscos pré-desastres, o que pode revelar limitações gerenciais e identificar possibilidades de reforma (Dolman *et al.*, 2018).

O presente estudo contrapõe às pesquisas de Marulanda, Cardona e Barbat (2010), Dolman *et al.* (2018) e De Silva e Kawasaki (2018) não só pelo objeto de estudo, mas por analisar em painel a evolução de vários indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade. Estes indicadores, em conjunto, podem demonstrar a possibilidade de empobrecimento implícito (tendência de perdas) dos municípios atingidos pelo rejeito da barragem de Fundão, seja pela presença do minério nos rios ou no prejuízo a curto, médio e longo prazo, o que, para mitigar os danos existentes, incorre na mudança de alocação de recursos.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) contabiliza 36 municípios mineiros atingidos pelos rejeitos advindos da barragem de Fundão, em Mariana, sendo estes os que receberão o tratamento e posterior análise de indicadores socioeconômicos. Os danos decorrentes do rompimento da barragem causaram uma série de impactos sociais, ambientais e econômicos aos municípios e pequenas comunidades, mas em diferentes proporções para aqueles que recebem *royalties* de mineração (Freitas *et al.*, 2019).

Assim, de forma a subsidiar discussões teóricas e empíricas sobre a gestão dos municípios atingidos pelos rejeitos da barragem de Fundão, o presente trabalho torna-se relevante ao analisar comparativamente os indicadores socioeconômicos entre os municípios atingidos (tratados) e todos os outros de Minas Gerais (controle) no intuito de contribuir para a identificação de pontos críticos do desenvolvimento municipal ao longo dos anos.

Todavia, o presente estudo se diferencia da abordagem de Freitas *et al.* (2019) por dar ênfase a uma análise quantitativa, a partir da utilização das técnicas de escores de propensão e teste de diferenças em diferenças, sendo possível fazer uma análise temporal das variáveis socioeconômicas e de sustentabilidade dispostas nas dimensões: saúde, educação, assistência social, sustentabilidade, finanças, orçamento e aspectos demográficos.

As informações sobre risco e exposição a danos de desastres como o rompimento da barragem de Fundão podem ser utilizadas numa perspectiva anterior ao ocorrido, a partir da avaliação do risco na intenção de mitigá-lo, ou numa perspectiva pós-acontecimento, através da estruturação de gestão de riscos, avaliação de danos e reconstrução. Neste sentido, espera-se descobrir se o efeito e os danos causados por um desastre como este podem se propagar entre as áreas locais devido às interconexões econômicas dos sistemas de produção.

2 Referencial teórico

Neste capítulo, como forma de subsidiar as discussões acerca dos impactos do rompimento da barragem de Fundão nos municípios atingidos, são abordados os desastres ambientais e as consequências socioeconômicas e sustentáveis, além do desastre causado por atividade humana: o rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG.

2.1 Desastres ambientais e consequências socioeconômicas e sustentáveis

Os desastres são conceituados sobre o prisma de diversas abordagens. De forma geral, as conceituações mais utilizadas envolvem eventos súbitos, decorrentes de algo natural, mas que derivam de uma combinação de ação humana e dos sistemas da natureza (Bradshaw 2003; Kobiyama *et al.*, 2006) e os desastres causados pela direta interferência humana (Bradshaw, 2003). É importante esclarecer que este artigo segue a nomenclatura de eventos súbitos para desastres advindos do ambiente, assim como “desastres socioambientais”, como foi abordado por Carvalho e Oliveira (2021), para melhor identificar os desastres naturais. Parte-se do pressuposto que a expressão “desastres socioambientais” é autoexplicativa para a coexistência da piora em indicadores socioeconômicos a partir de desastres ambientais.

Segundo Bradshaw (2003), os eventos decorrentes de algo natural são aqueles causados por tempestades, inundações, secas, terremotos, erupções vulcânicas, tsunamis ou deslizamentos de terra.

Tais fenômenos não só produzem efeitos de imediato, mas também impactam de forma contínua após a ocorrência do desastre. Este mesmo autor, assim como Dolman *et al.* (2018), Markhvida *et al.* (2020) e Mercer *et al.* (2012), afirma que os eventos súbitos causam uma ruptura estrutural temporária nos locais afetados, de modo a gerar obstáculos consideráveis às atividades sociais e econômicas existentes.

Entretanto, Markhvida *et al.* (2020) afirmam que as avaliações de risco destes eventos normalmente consideram perigos ambientais e danos físicos, com menor abordagem, por exemplo, na influência destes desastres no bem-estar das famílias atingidas. Estes autores perceberam que famílias mais pobres perdem 19% dos seus bens pós-desastre contra 41% das perdas de bem-estar, o que demonstra a importância de se identificar, além dos danos físicos, a perda social, cultural, de satisfação e de bem-estar.

De fato, os eventos súbitos têm um grande impacto nas condições de vida, no desempenho econômico, nos ativos e também nos serviços ambientais das regiões afetadas (Bradshaw, 2003). Corroborando, por meio de um estudo feito na América Central, Ishizawa e Miranda (2019) perceberam que a intensidade de um furacão leva a uma diminuição no crescimento do produto interno bruto total per capita, além de provocar queda na renda total familiar e na renda do trabalho, o que por sua vez está diretamente proporcional ao aumento da extrema pobreza.

130

Já Perera *et al.* (2018), através da análise sobre desastres causados por deslizamentos de terra em Aranayake, Sri Lanka, constataram que desastres desta magnitude para regiões voltadas para a agricultura familiar afetam diretamente a renda básica familiar, bem como o Produto Interno Bruto (PIB) da região afetada. Outros autores, como Mercer *et al.* (2012) e Wicker *et al.* (2013), destacam sobre a influência de ativos governamentais no enfrentamento de crises geradas por desastres em relação ao esporte e à cultura, o que influencia em vários aspectos econômicos (como o PIB local) e sociais (alta dependência de recursos de terceiros para atividades deste tipo). Ainda, Inoue e Havard (2015) afirmam que o esporte pode desempenhar um papel importante nos esforços de recuperação da comunidade pós-desastre.

As consequências geradas pelos eventos súbitos podem perdurar no longo prazo e até mesmo afetar irreversivelmente as estruturas econômicas, sociais e de meio ambiente (Bradshaw, 2003). A crise causada por desastres, em países em desenvolvimento, mesmo para valores absolutos monetários menores, afeta diretamente a sustentabilidade e o desenvolvimento local (saúde, educação, renda, emprego, ...), em virtude do significativo peso relativo do impacto (Bradshaw, 2003).

Segundo Rush (2018) e Islam e Khan (2018), os desastres geram um aumento da pobreza local. Ainda, têm-se um impacto negativo destes nas matrículas dos alunos nos níveis fundamental e médio, de forma que pode alterar significativamente as decisões sobre a educação das crianças em virtude das restrições que os familiares enfrentam durante a crise por desastre. De forma complementar, Hoffmann e Blecha (2020) afirmam sobre a importância do desenvolvimento educacional para o enfrentamento das crises geradas por desastres. Para o autor, indiretamente, a educação dá aos

indivíduos e famílias acesso a recursos materiais, informativos e sociais, que podem ajudar a reduzir os efeitos causados por desastres.

Contudo, existem os desastres causados de forma direta pela ação humana e estes estão relacionados a uma má gestão de mitigação do risco (Bradshaw, 2003). Algumas ações humanas cada vez mais causam ou agravam fenômenos que aconteceriam naturalmente, ora por não utilizarem adequadamente os recursos naturais, ora por não cumprirem os códigos e normas para o desenvolvimento do projeto (Albert; Amaratunga; Bradshaw, 2003; Haigh, 2018). Ainda, a equivocada intervenção humana está diretamente relacionada ao fato dos locais atingidos estarem mais suscetíveis aos danos causados por eventos súbitos (Bradshaw, 2003).

Segundo Albert *et al.* (2018), existem impactos significativos de derramamentos de óleo em todas as fontes de estrutura de subsistência de uma comunidade. Os achados demonstraram que os danos causados ao meio ambiente aumentaram significativamente o custo de vida das famílias. Dolman *et al.* (2018) corrobora ao afirmar que o mau uso da terra e os aspectos demográficos de crescimento populacional, em conjunto com causas naturais como a mudança climática e o período das cheias, teve um forte impacto nas famílias afetadas em Rio Branco, no Acre. Dentre os fatores destacam-se as perdas monetárias, o crescimento de doenças e o aumento da ansiedade, agravando negativamente o impacto socioeconômico e ambiental das regiões atingidas (Dolman *et al.*, 2018).

131

Bradshaw (2003) ainda faz a comparação da crise por eventos súbitos com os problemas causados pela intervenção direta do ser humano na atividade hidrelétrica. O autor indica que a gestão de recursos hídricos exige um amplo aparato financeiro para o desenvolvimento das obras, como barragens de desvio e armazenamento. Neste sentido, os danos causados pela má gestão destas instalações são imensuráveis, atingindo diretamente todo meio de subsistência das regiões afetadas, desde a geração de eletricidade ao prejuízo no abastecimento de água (Bradshaw, 2003).

Assim, destaca-se que uma avaliação das consequências socioeconômicas e sustentáveis de desastres causados pela ação humana é uma parte essencial do desenvolvimento de planos de redução de risco e gestão de desastres (Amini Hosseini; Hosseinioon; Pooyan, 2013; Bradshaw, 2003; Marulandaa; Cardona; Barbat, 2010). Neste sentido, o tópico que segue sobre o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, torna-se imprescindível para entender melhor o caso.

2.2 Desastre por atividade humana: o rompimento da barragem de Fundão em Mariana- MG

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, ocorrido no dia 5 de novembro de 2015, é considerado um dos maiores desastres da mineração brasileira em nível de extensão territorial e danos ambientais (Fontes; Lopes, 2017; Freitas *et al.*, 2019; Lacaz; Porto; Pinheiro, 2017), causando danos direta e indiretamente às partes presentes nas regiões atingidas.

Os danos causados pelos desastres por atividade humana são, em muitos casos, de difícil precificação (Bradshaw, 2003). Os desastres provocam maiores custos operacionais devido à destruição

de infraestrutura física, valores provavelmente maiores em detrimento de uma política de gestão de risco, por exemplo; diminuição da produção ou prestação de serviços devido à paralisação total ou parcial das atividades; custos adicionais incorridos pela necessidade de recorrer a meios alternativos de produção ou prestação de serviços essenciais; maiores custos por reorientação ou remanejamento orçamentário; redução de receitas por não prestação ou prestação parcial de serviços; custos de atendimento à população afetada durante a fase de emergência; custos adicionais com campanhas de saúde e economia de água tratada; aumento da taxa de desempregados; custo com treinamento para socorristas ou brigadas, alguns custos de poluição ambiental, maior congestionamento de tráfego e outras repercussões semelhantes de um desastre (Bradshaw, 2003).

Rezende, Portella e Oliveira (2021) afirmam que o rompimento da barragem de Fundão causou, além de impactos ambientais, um crescimento de grupos vulneráveis socioeconomicamente que acabaram por sofrer de maneira desigual com as ações da mineração. Ainda, estes mesmos autores reiteram que o governo federal, por meio do Decreto n.º 9759, de 11 de abril de 2019, desestabilizou as ações de vários conselhos públicos regulares e elaboradores de política pública, que buscavam aumentar a resiliência da comunidade no intuito de mitigar os impactos, principalmente sociais (Brasil, 2019).

132

Corroborando e de forma complementar, Freitas *et al.* (2019) destacam que o município de Mariana, com receitas dependentes em 80% da mineração, a partir de uma interrupção dos serviços entorno da mineração, afetam em cadeia as populações e territórios atingidos, gerando impactos sobre as condições de vida e consequentemente maiores investimentos financeiros. Entretanto, Lacaz, Porto e Pinheiro (2017) afirma que a exigência de maiores investimentos está na contramão às receitas dos municípios.

Segundo Fernandes *et al.* (2016), os danos causados pelo rompimento da barragem foi calculado pelo governo federal em mais de 20 bilhões de dólares. Além dos danos irreversíveis como a destruição de comunidades inteiras e a morte de 19 pessoas de forma imediata, têm-se ainda que a interrupção da atividade de mineração afetará o desenvolvimento de 37 vilas e cidades devido à redução de royalties e receitas a partir de compensação financeira pela utilização de recursos (Fernandes *et al.*, 2016).

De fato, conforme apontam Passos, Coelho e Dias (2017), os problemas advindos da exploração mineral nos países em desenvolvimento, particularmente no Brasil, são agravados durante crises e desastres socioambientais. A influência do capital na gestão e planejamento territorial é evidente na histórica relação de poder da indústria mineradora, resultando na perda de direitos das comunidades locais que vivem nas áreas de interesse dessas empresas (Bertollo, 2017; Passos; Coelho; Dias, 2017).

Alves, Carneiro e Paiva (2020) afirmam que a dependência econômica dos municípios para a atividade extrativista mineral é especialmente visível nos municípios de Minas Gerais, o estado com maior produção mineral do país. Os autores destacam, ainda, que o impacto de apenas uma única

atividade, como a mineração extrativista de minério de ferro, é extremamente relevante no processo de mudanças contínuas em todo ecossistema, o que afeta o desenvolvimento local.

A questão social relacionada à mineração extrativista em Mariana e região é fundamentada na lógica de dependência e na superexploração da força de trabalho, resultando em uma série de privações, misérias e violências para os trabalhadores envolvidos (Bertollo, 2017). Esse cenário reforça a urgência de repensar o modelo de exploração mineral, visando equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação do meio ambiente, além de buscar aumentar o bem-estar das comunidades locais e reduzir a dependência local das atividades extrativistas (Bertollo, 2017; Guimarães; Milanez, 2017; Passos; Coelho; Dias, 2017).

O estudo de Faria e Botelho (2018) mostrou que alguns eventos sobre a estrutura física da barragem de Fundão, em Mariana, implicaram numa progressiva deterioração da capacidade de suportar todo volume de rejeito despejado, ocasionando o rompimento. Rojas e Pereira (2018) corroboram desta afirmação e adicionam que fatos como este evidenciam negligências da empresa gestora. Dessa forma, assim como apontam Pinto-Coelho (2015), Botelho *et al.* (2021) e Rezende, Portella e Oliveira (2021) fatores gerenciais, de operação, de controle, de engenharia, do ambiente de trabalho e das agências reguladoras, contribuíram significativamente para o rompimento da barragem, acarretando diversos danos socioeconômicos e sustentáveis graves no curto, médio e de longo prazo.

3 Procedimentos metodológicos

O presente estudo, quantitativo e descritivo, busca, através da avaliação de impacto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, analisar, a partir de indicadores socioeconômicos e sustentáveis, os 853 municípios mineiros, divididos em grupo tratado e grupo de controle. Destes, 36 municípios foram atingidos diretamente pelos rejeitos da barragem (IBAMA, 2022), sendo alocados ao grupo de tratamento. Os outros 817 fazem parte do grupo de controle.

3.1 Coleta dos dados

Os dados secundários foram coletados através da Fundação João Pinheiro, pelo Índice Mineiro de Responsabilidade Social (IMRS, 2019), todos tratados de forma a contemplar os anos entre 2010 e 2019. A variável PIB per capita, no ano de 2019, foi retirada do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Cidades como forma de complementação dos dados para a utilização do ano.

As dimensões escolhidas, conforme a literatura, foram: Orçamento, Saúde, Financeira, Demográfica, Sustentabilidade, Assistência Social e Educação. As variáveis correspondentes não só possuem relação com indicadores socioeconômicos que avaliam o desempenho municipal, como também foram testadas e descritas pela literatura como importantes para entendimento sobre desastres (Freitas *et al.*, 2019; Markhvida *et al.*, 2020). Neste sentido, encontra-se relevância na avaliação do

impacto do rompimento da barragem de Fundão. Assim, o quadro 1 abaixo apresenta as dimensões e suas respectivas variáveis:

Quadro 1 – Caracterização das Dimensões e Variáveis

Dimensões	Variáveis	Referências
Saúde	“Taxa bruta de mortalidade”; “Proporção de internações por doenças de veiculação hídrica”; “Proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado”; “Proporção da população atendida pela Estratégia de Saúde da Família”; “Proporção de óbitos por causas mal definidas”; “Proporção de internações hospitalares por condições sensíveis à atenção primária”; “Gasto per capita com atividades de saúde”; “Esforço orçamentário em atividades de saúde”; “Percentual do gasto em saúde em relação à receita de impostos e transferências (EC 29)”.	Freitas <i>et al.</i> (2019)
Educação	“Taxa de Escolaridade Líquida do Ensino Fundamental”; “Taxa de escolarização líquida do Ensino Médio”; “Gasto per capita com atividades de educação”; “Esforço orçamentário em atividades de educação”; “Gasto mínimo da educação (Art. 212, CF/88)”.	Hoffmann e Blecha (2020)
Assistência Social	“Número de famílias com renda per capita até 1/2 salário mínimo”; “Proporção de beneficiários do BPC por mil habitantes”; “Gasto per capita com atividades de assistência social e cidadania”; “Esforço orçamentário em atividades de assistência social e cidadania”; “Índice de Gestão Descentralizada Municipal do Programa Bolsa Família - Saúde”; “Índice de Gestão Descentralizada Municipal do Programa Bolsa Família - atualização do Cadastro Único”.	Dolman <i>et al.</i> (2018)
Sustentabilidade	“Percentual da população urbana em domicílios com abastecimento de água (rede)”; “Percentual da população urbana em domicílios com esgotamento sanitário (rede)”; “Percentual de esgoto tratado”; “Percentual da população urbana em domicílios com coleta de lixo (direta e indireta)”; “Existência de coleta seletiva”; “Percentual da população atendida por sistema de coleta e tratamento de lixo”; “Gasto per capita com saneamento”; “Esforço orçamentário em saneamento”; “Existência de Conselho Municipal de Saneamento”; “Índice de Esforço de Gestão das Políticas de Saneamento Básico”; “Gasto per capita com meio ambiente”; “Esforço Orçamentário em Meio Ambiente”; “ICMS recebido pelo critério ecológico da lei Robin Hood”; “Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos”; “Compensação financeira pela exploração mineral”.	Albert, Amaratunga e Haigh (2018), Ferreira <i>et al.</i> (2022)
Finanças	“Transferências per capita - BF”; “Transferências per capita – BPC”; “Gasto per capita com difusão cultural”; “Gasto per capita com desporto e lazer”; “Gasto per capita com agropecuária”; “Gasto per capita com desenvolvimento econômico”; “Gasto per capita com infraestrutura”; “Gasto per capita com reforma agrária e colonização”; “Gasto per capita com apoio ao trabalho”; “Gasto per capita com turismo”; “Índice de Desenvolvimento Tributário e Econômico (IDTE)”; “Compensação financeira pela exploração mineral”; “Receita corrente líquida per capita”; “Percentual do gasto com pessoal em relação à receita corrente líquida”; “Balanço orçamentário”; “Endividamento - Participação da dívida consolidada líquida na receita corrente líquida”; “Percentual do custeio da máquina em relação à Receita Corrente Líquida (RCL)”; “Percentual do investimento em relação à despesa total”; “Percentual de receitas de convênios em relação à Receita Corrente Líquida (RCL)”; “PIB per capita”.	Mercer <i>et al.</i> (2012), Wicker, Filo e Cuskelly (2013), Markhvida <i>et al.</i> (2020)

Orçamento	“Esforço orçamentário em desporto e lazer”; “Esforço orçamentário em difusão cultural”; “Esforço orçamentário em agropecuária”; “Esforço orçamentário em desenvolvimento econômico”; “Esforço orçamentário em infraestrutura”; “Esforço orçamentário em apoio ao trabalho”; “Esforço orçamentário em turismo”.	Markhvida <i>et al.</i> (2020)
Demográficos	“População total”; “Índice de envelhecimento”; “Taxa de urbanização”.	Markhvida <i>et al.</i> (2020)

Fonte: Elaboração própria.

As dimensões acima foram determinadas buscando responder ao objetivo proposto de avaliar o impacto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana – MG, para as variáveis de interesse socioeconômicas (PIB per capita “PIB”, número de famílias com renda per capita até ½ salário mínimo “assist1PC”) e de sustentabilidade (Gasto per capita com meio ambiente “sust11”, esforço orçamentário em meio ambiente “sust12”, compensação financeira por utilização dos recursos hídricos “COMP”).

O “PIB” é um indicador essencial para medir o crescimento econômico municipal, estadual ou federal, além da sua variação ao longo do tempo. Também é usado para comparar a saúde econômica de diferentes entes para tomar decisões de política econômica (Mercer *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2015; Wicker; Filo; Cuskelly, 2013). No entanto, vale lembrar que o PIB não representa todos os aspectos do bem-estar social, pois não considera todos os fatores relacionados à qualidade de vida, à educação, à saúde e ao meio ambiente. Por esse motivo, este trabalho complementa a análise do PIB com indicadores de renda e de sustentabilidade.

Albert, Amaratunga e Haigh (2018) abordam os desastres como sendo uma grande interrupção do oferecimento de serviços em uma sociedade, a partir dos quais estão envolvidas diversas perdas e impactos econômicos e/ou ambientais. Ainda, Ferreira *et al.* (2022) afirmam que os impactos não são homogêneos entre os segmentos e municípios nordestinos atingidos por derramamento de óleo em 2019. Portanto, variáveis que estão relacionadas ao esforço público no enfrentamento do desastre (esforço orçamentário em meio ambiente) e às características econômicas específicas do município (compensação financeira por utilização dos recursos hídricos) tornam-se relevantes para a análise.

3.2 Análise dos dados

A análise consistirá em usar seletivamente as variáveis dispostas em dimensões para responder qual o impacto do rompimento da barragem de Fundão nos indicadores socioeconômicos dos municípios diretamente atingidos. Ao contrário de um monitoramento contínuo das ações, a avaliação de impacto é realizada em pontos específicos ao longo do tempo, com o objetivo de dar perspectivas de análises para especialistas. “O seu desenho, método e custo variam substancialmente, dependendo do tipo de pergunta que a avaliação tenta responder” (Gertler *et al.*, 2018, p.8).

Os métodos de comparação para análise do efeito tratamento visam reduzir o viés ao escolher os grupos de tratamento e comparação com base nas características observáveis, sendo, no caso da pesquisa, municípios atingidos e não atingidos diretamente pelo rejeito da barragem. A medição de impacto ao usar dados em painel é vantajosa por permitir um maior tamanho da amostra e a possibilidade de identificar mudanças estruturais na relação entre a variável dependente e as variáveis independentes ao longo do tempo, sendo que os dados dispostos pelo IMRS se encontram na linha de base antes do acontecimento, entre os anos de 2010 e 2015 e após o rompimento da barragem, entre os anos de 2016 e 2019 (Gertler *et al.*, 2018; Khandker; Koolwal; Samad, 2009).

Foi criada uma variável “*ageDummy*” associada aos municípios mineiros. A variável recebeu o valor 0 para os anos entre 2010 e 2015 (anteriores ao desastre) e valor 1 para os anos entre 2016 e 2019 (posteriores ao desastre). O rompimento da barragem aconteceu em 5 de novembro de 2015, próximo ao fechamento do ano contábil dos municípios. Por este motivo, o ano de 2015 foi considerado como anterior ao desastre.

Perez *et al.* (2020) utilizaram dados em painel para analisar a vulnerabilidade socioeconômica e de infraestrutura urbana brasileira, aliada à exposição da população a desastres ante observados e para possíveis riscos de reincidência. Já Padli, Habibullah e Baharom (2018), através da análise dinâmica de dados em painel, descobriram que o nível de desenvolvimento econômico desempenha um papel importante na mitigação do impacto de desastres, como secas, terremotos, inundações e tempestades.

Para o presente trabalho foram utilizadas várias variáveis divididas em dimensões. Grande parte delas já foram utilizadas, mesmo que substancialmente, em outras pesquisas. Contudo, visando analisar a covariância entre as variáveis observáveis e no intuito de dar mais robustez à pesquisa, será utilizada Análise Fatorial Exploratória (AFE), sendo retiradas do modelo as variáveis que não possuam correlação latente.

Neste sentido, dividiu-se a análise em três fases:

1. Análise Fatorial Exploratória;
2. Técnica de Pareamento, ou *Propensity-score Matching*;
3. Teste de Diferenças em Diferenças com painel.

3.2.1 Análise Fatorial Exploratória (AFE)

Daniels e Minot (2019) afirmam que a análise fatorial é uma técnica estatística multivariada utilizada para identificar um número reduzido de fatores latentes a partir de um número de variáveis observadas e correlacionadas. Durante a análise fatorial, variáveis estatísticas são formadas para melhor representarem a estrutura subjacente ou padrões das variáveis conforme representadas por suas intercorrelações (Hamilton, 2012).

A Análise fatorial exploratória inclui análise de componentes principais e análise dos fatores comuns, sendo esta uma abordagem estatística que pode ser usada para analisar inter-relações entre inúmeras variáveis e explicá-las em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores). O objetivo é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais, em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação. Pelo fato de fornecer uma estimativa empírica da estrutura das variáveis consideradas, a análise fatorial se torna uma base objetiva para criar escalas múltiplas (Hair *et al.*, 2009).

O propósito geral de técnicas de análise fatorial é encontrar um modo de condensar (resumir) a informação contida em diversas variáveis originais em um conjunto menor de novas dimensões compostas ou variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação – ou seja, buscar e definir os construtos fundamentais ou dimensões assumidas como inerentes às variáveis originais.

Ao atingir seus objetivos, a análise fatorial é ajustada com quatro questões: especificação da unidade de análise; obtenção do resumo de dados e/ou redução dos mesmos; seleção de variáveis e uso de resultados da análise fatorial com outras técnicas (Hair *et al.*, 2009). Neste sentido, inicialmente, os fatores latentes serão utilizados em substituição às variáveis para o cálculo do efeito tratamento a partir da técnica de escores de propensão (*Propensity-score Matching*).

137

3.2.2 Teste de Escores de Propensão (*Propensity-score Matching*)

Da mesma forma que nos estudos observacionais, os sujeitos são alocados aos grupos de tratamento e de controle de forma não aleatória. Neste caso, o efeito tratamento estimado pode ser enviesado pela existência de fatores de confusão. A utilização do escore de propensão é uma forma de “corrigir” o efeito tratamento estimado, a partir do controle da existência desses fatores de confusão, de forma que o viés é reduzido ao comparar os resultados entre os indivíduos tratados e de controle mais semelhantes (Becker; Ichino, 2002).

Neste sentido, considere $D = \{0, 1\}$ como o indicador de exposição ao tratamento, sendo 0 para os municípios de controle e 1 para os municípios de tratamento (foram atingidos pela lama da barragem). O “i” corresponde aos municípios e o “Y” está associado às variáveis de interesse para análise do impacto:

$$Y^i = DY_1^i + (1-D) Y_0^i$$

Como resultado, Rosenbaum e Rubin (1983) afirmam que dada uma população denotada por i, se o escore de propensão Y^i for conhecido, então o efeito médio do tratamento no tratado (ATT) pode ser estimado a partir da diferença entre o grupo tratado e o grupo de controle, para o D associado ao recebimento do tratamento:

$$E\{Y_1^i - Y_0^i | D^i = 1\}$$

No presente estudo, o método irá resumir as características de pré-tratamento de cada município em uma variável de índice único (o índice de propensão) que torna a análise comparada viável (Becker; Ichino, 2002). Neste método de estratificação pode haver unidades tratadas que são descartadas porque nenhum controle está disponível em seu bloco, sendo necessária a utilização do método de vizinho mais próximo para que todas as unidades tratadas encontrem uma correspondência (comparação entre controle e tratado).

Ainda, pode acontecer de algumas correspondências serem ruins para entender o efeito tratamento, pois para algumas unidades tratadas o vizinho mais próximo pode ter um escore de propensão muito diferente. Contudo, as correspondências ainda contribuiriam para a estimativa do efeito do tratamento independentemente dessa diferença. No Stata®, os métodos *Radius Matching*(attr) e *Kernel Matching* (attnd e attnw) oferecem uma solução para o problema de não correspondência e serão utilizados neste trabalho.

Assim, em conjunto com a Análise Fatorial Exploratória, o viés será reduzido pela riqueza e qualidade das variáveis de controle nas quais o escore de propensão é calculado e o pareamento realizado. Ainda, o viés será eliminado se os municípios tratados puderem ser considerados puramente aleatórios entre indicadores que possuem o mesmo valor do escore de propensão.

Khander, Koolwal e Samad (2009) afirmam que o pareamento simples por escore de propensão, apesar de extremamente relevante, não é capaz de incorporar características não observáveis que podem explicar por que um grupo opta por se inscrever em um programa e que também podem afetar os resultados e, por isso, o presente estudo utilizará o pareamento combinado com a técnica de diferenças em diferenças.

3.2.3 Teste de Diferença em Diferenças

O método de dupla diferença, também conhecido como diferenças em diferenças, é mais utilizado em avaliações não experimentais, ou seja, o método estima a diferença no resultado durante o período pós-intervenção entre um grupo de tratamento e um grupo de controle em relação aos indicadores estudados. A maneira mais simples de calcular o efeito a partir do teste de dupla diferença é tomar manualmente a diferença nos resultados entre o tratamento e o controle (Khandker; Koolwal; Samad, 2009).

O pareamento combinado à diferença em diferenças é utilizado para analisar quaisquer características não observáveis que sejam constantes ao longo do tempo entre os dois grupos (Khandker; Koolwal; Samad, 2009). Ainda, a combinação do *Propensity Score* com o método de Diferenças em Diferenças busca considerar a constância das características não observáveis ao longo do tempo, contando com os dados da linha de base, de forma a possibilitar a redução do risco de viés. A combinação é feita após o pareamento, calculando-se a primeira diferença entre o antes e depois do instrumento de estudo, e a segunda diferença com a mudança antes e depois para comparação com o

grupo de controle. Após esse cálculo, subtrai-se a primeira diferença da segunda e calcula-se a média da amostra (Khandker; Koolwal; Samad, 2009).

A técnica de diferenças em diferenças é adequada em contextos de avaliação onde os dados observacionais para unidades tratadas e não tratadas estão disponíveis antes e depois do tratamento (Cerulli, 2015), assim como ocorre com as variáveis explicativas e variáveis de interesse do presente estudo. Os efeitos causais, sob tal estrutura de dados, podem ser identificados e estimados de forma consistente pelo teste de diferenças em diferenças (*diff in diff*).

Dois tipos de estimadores *diff in diff* têm sido propostos na literatura, o referente aos dados em um conjunto longitudinal puro, também conhecido como dados de painel, ou uma seção transversal repetida. No primeiro caso, a mesma unidade (tratada ou não tratada) é observada antes e após a ocorrência de um tratamento; no segundo caso (seção repetida), as unidades observadas antes e depois do tratamento (tratadas ou não) podem ser diferentes. A interpretação dos resultados em ambos os tipos de *diff in diff* são, no entanto, as mesmas (Cerulli, 2015). O presente estudo utilizará o estimador *diff in diff* para dados em painel, conforme descrito na seção 3.1.1.

A técnica de *diff in diff* foi utilizada a partir de um conjunto de dados longitudinais, onde a mesma unidade *i* (municípios) pode ser observada antes e após o tratamento. Os dados estão dispostos para dois pontos no tempo *t*, para cada período observável, ou seja, no formato *average*, para $\frac{1}{4} \{0, 1\}$ (Cerulli, 2015):

Antes do rompimento da barragem = 0 (controle = 0; tratamento = 1); depois do rompimento da barragem = 1 (controle = 0; tratamento = 1).

A técnica é considerada relevante, pois os sujeitos de análise são municípios, que possuem características parecidas e comparáveis ao longo tempo. Neste sentido, em uma configuração de dados em painel, o teste de diferenças em diferenças é definido como o estimador na seguinte regressão (Cerulli, 2015):

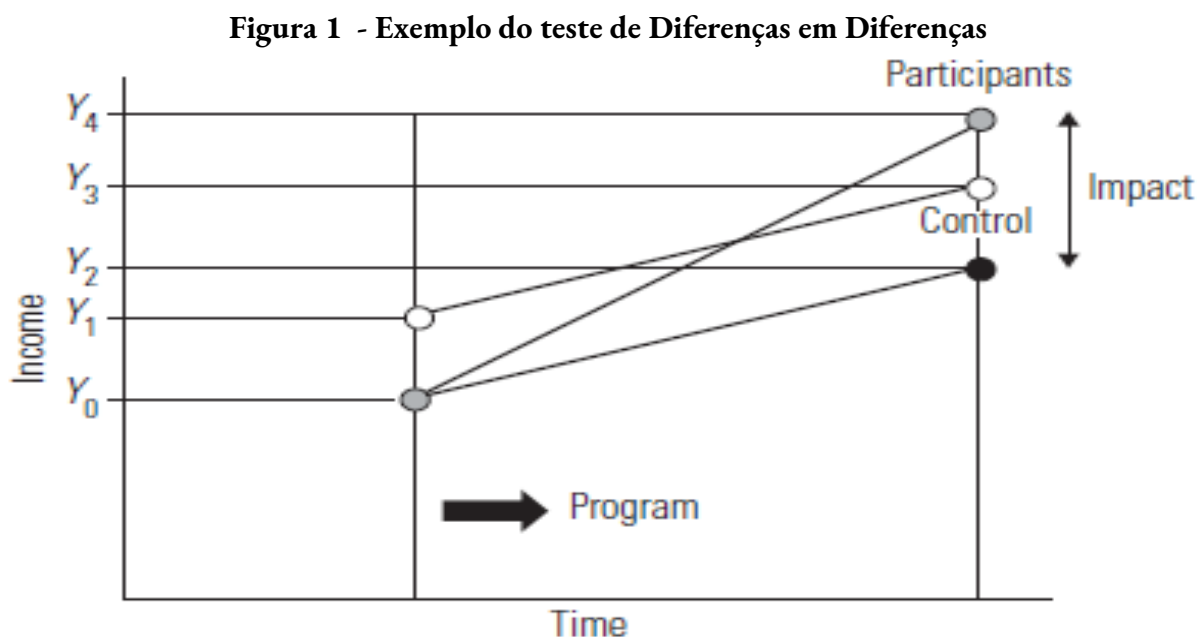
$$\hat{a}_{DiD} = (\bar{y}_{i1}^T - \bar{y}_{i1}^C) - (\bar{y}_{i0}^T - \bar{y}_{i0}^C)$$

Sendo:

$$\begin{aligned}\bar{y}_{i1}^T &= \frac{1}{4} \text{média de } Y \text{ no tratado em } \frac{t1}{4} 1 \\ \bar{y}_{i1}^C &= \frac{1}{4} \text{média de } Y \text{ no tratado em } \frac{t1}{4} 1 \\ \bar{y}_{i0}^T &= \frac{1}{4} \text{média de } Y \text{ no tratado em } \frac{t1}{4} 0 \\ \bar{y}_{i0}^C &= \frac{1}{4} \text{media de } Y \text{ no tratado em } \frac{t1}{4} 0\end{aligned}$$

Para se ter o impacto do teste de diferenças em diferenças, deve-se calcular a diferença média nos resultados separadamente para participantes e não participantes ao longo dos períodos e, em

seguida, tomar uma diferença adicional entre as mudanças médias nos resultados para esses dois grupos (Cerulli, 2015; Khandker; Koolwal; Samad, 2009), conforme a equação $DD = (Y_4 - Y_0) - (Y_3 - Y_1)$ (Khandker; Koolwal; Samad, 2009) disposta na figura 1 abaixo:



Fonte: *et al.* (2009).

Neste caso, as características não observadas criam uma diferença entre os resultados de controle medidos, sendo que os verdadeiros Khander resultados contrafactuais são considerados invariantes no tempo, de modo que a diferença entre as duas tendências é a mesma no período. A figura 1 acima traz a implicação que $(Y_3 - Y_2) = (Y_1 - Y_0)$. Usando esta igualdade na equação DD anterior, obtém-se $DD = (Y_4 - Y_2)$.

Bondonio e Greenbaum (2018) utilizaram a dinâmica de correspondência de pontuação de propensão com um estimador de diferença em diferença para analisar condados dos EUA entre 1989 e 1999 em relação à resiliência da economia local a desastres socioambientais raros. Assim como Bondonio e Greenbaum (2018), o presente estudo utilizou em conjunto a técnica de escore de propensão e o teste de diferenças em diferenças, mesmo que não seja para desastres socioambientais. O software estatístico Stata®, versão 16, foi utilizado para rodar o modelo de avaliação de impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério.

4 Resultados e discussões

Neste capítulo foram desenvolvidos os resultados estatísticos, visando analisar o efeito do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, nos indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade dos municípios atingidos pelo rejeito da barragem.

4.1 Resultados

Inicialmente, é salutar traçar uma análise descritiva das variáveis de interesse para entender a sua dinâmica e disposição no banco de dados. Assim, apresenta-se a sumarização conforme a tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Sumarização das variáveis de interesse

Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
PIB	8.530	16.57	18.73	3.25	340.14
assist1PC	8.530	0.14	0.05	0.02	0.33
sust11	8.517	10.97	27.66	0	587.47
sust12	8.524	0.40	0.8274	0	13.22
COMP	7.180	183.12	714.87	0	8729.09

Fonte: Elaboração própria.

141

As variáveis PIB e COMP, correspondentes ao PIB per capita e Compensação Financeira por utilização hídrica respectivamente, estão na proporção 1 para 1000,00. Portanto, o mínimo do PIB Per capita é de 3250,00 e o máximo 340.144,70, com média de 16.570,48. Alguns municípios não recebem compensação financeira por utilização de recursos hídricos, por isso o mínimo de 0. O esforço orçamentário com meio ambiente (sust12) e o gasto per capita com meio ambiente (sust11) também possuem o mínimo 0, mas em virtude da ausência de informação para alguns poucos municípios. Por fim, o número per capita médio de famílias que possuem até ½ salário mínimo entre todos os dependentes é de 0,14.

Como forma de melhor tratar as variáveis explicativas e ainda confrontar a literatura, a Análise Fatorial Exploratória foi utilizada para reorganizar estas variáveis a partir da correlação entre elas. Foram aceitos somente os elementos com raízes características superiores a 1, o que proporcionou a identificação de treze fatores:

Quadro 2 - Caracterização dos fatores e variáveis correspondentes

Fator	Variável Correspondente
Fator1	Gasto com legislativo per capita, Receita corrente líquida per capita, gasto per capita com difusão cultural, gasto per capita com atividades de educação, gasto per capita com desporto e lazer, gasto per capita com infraestrutura, gasto per capita com atividades de saúde, gasto per capita com atividades de assistência social e cidadania.
Fator2	Taxa de Urbanização, Proporção da população atendida pela Estratégia de Saúde da Família, Índice de Desenvolvimento Tributário e Econômico (IDTE).
Fator3	Existência de Conselho Municipal de Saneamento, Índice de Esforço de Gestão das Políticas de Saneamento Básico.

Fator4	Proporção de internações por doenças de veiculação hídrica, Proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, Proporção de internações hospitalares por condições sensíveis à atenção primária.
Fator5	Gasto per capita com saneamento, Esforço Orçamentário com Saneamento.
Fator6	Gasto per capita com agropecuária, Esforço Orçamentário em Agropecuária.
Fator7	Gasto per capita com apoio ao trabalho, Esforço orçamentário em apoio ao trabalho.
Fator8	Gasto per capita com difusão cultural, Esforço orçamentário em difusão cultural.
Fator9	Gasto per capita com esporte e lazer, Esforço orçamentário com esporte e lazer.
Fator10	Gasto per capita com desenvolvimento econômico, Esforço orçamentário em desenvolvimento econômico.
Fator11	Taxa de Escolaridade Líquida do Ensino Fundamental.
Fator12	Gasto per capita com turismo, Esforço orçamentário em turismo.
Fator13	Esforço orçamentário em atividades de saúde.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da presença dos fatores, foi possível perceber uma união das variáveis de “gasto per capita” com o “esforço orçamentário”, o que sugere uma interlocução entre cálculo dos valores das variáveis, ou uma interpretação dos gestores sobre a semelhança no sentido das duas variáveis. Ainda, percebeu-se uma fraca correlação entre as variáveis de proporção de internações por doenças de veiculação hídrica e proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado com o gasto e esforço em saneamento básico.

Para validar a Análise Fatorial, foram utilizados os testes: esfericidade de Barlett e medida de adequacidade de Kayser-Meier-Olkin (KMO). O teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população, sendo que o software confirmou p-valor de 0,00, abaixo dos 5% de significância, validando os fatores pelo teste de esfericidade de Bartlett. Já o teste de adequacidade KMO, os valores do índice aceitável variam de autor para autor. O presente trabalho aceita o que diz Hair *et al.* (2009), quando afirma que valores entre 0,5 e 1,0 são aceitos para validar a análise fatorial. O Stata encontrou o valor de 0,693 para o KMO. Feito os testes, parte-se, portanto, para a análise do impacto com início da exploração pela técnica de escores de propensão, ou *propensity score matching*.

4.1.1 Análise pela *Propensity Score Matching*

Existem várias maneiras de verificar a robustez dos achados a partir da *Propensity Score Matching*. Uma abordagem é estimar a equação do escore de propensão e então usar os diferentes métodos de pareamento discutidos na metodologia para comparar os resultados.

A partir da variável de tratamento e das variáveis explicativas, foi detectada a presença de quatro escores de propensão, conforme tabela 2 abaixo. Foram identificados 3296 dados, com 3122 para o grupo de controle e 174 para o grupo de tratamento.

Tabela 2 - Escores de Propensão

Blocos de Escores de Propensão	Tratamento		Total
	0	1	
0.016	1.985	63	2.048
0.05	929	77	1.006
0.1	192	32	224
0.2	16	2	18
Total	3.122	174	3296

Fonte: Elaboração Própria.

Os achados com diferentes técnicas de correspondência são bastante consistentes (Gertler *et al.*, 2018). Utilizaram-se as abordagens atts (sem a utilização de variáveis explicativas e comparação pelo vizinho próximo); a ATTnd (com variáveis explicativas e a técnica do vizinho mais próximo) e a ATTk (com variáveis explicativas; técnica de kernel).

A abordagem do vizinho mais próximo tenta capturar os efeitos de diferentes covariáveis observadas na participação em um único índice ou pontuação de propensão. Em seguida, os resultados dos municípios tratados e não tratados, com escores de propensão semelhantes, são comparados para obter o efeito do programa. Os municípios para os quais nenhuma correspondência é encontrada são descartados porque não existe base para comparação. Na correspondência de kernel, todos tratados, bem como todos os controles, são usados. A estimativa do ATT é bastante próxima daquela obtida com o emparelhamento do vizinho mais próximo. A tabela 3 abaixo demonstra os dados para as variáveis de interesse. É salutar informar que foi feito um modelo de regressão para analisar cada variável dependente para os mesmos fatores descobertos.

Tabela 3 - Análise de Impacto pelo *Propensity Score Matching*

Variáveis/Teste	Propensity Score Matching				
	ATTs	ATTnd	Coef.	P-valor (Nerest-Neighbor)	ATTk
Pib Per Capita (em 1000,00)	-3.962	-3.273	-3.55	0.032	-1.866
Número de Famílias per capita até ½ salários mínimos	0.022	0.024	0.021	0.000	0.013
Gasto per capita com meio ambiente	6.170	2.099	6.31	0.032	7.261
Esforço Orçamentário em Meio Ambiente	0.323	0.210	0.32	0.005	0.341
Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (em 1000,00)	-163.233	-123.890	-179.81	0.000	-122.960

Fonte: Elaboração própria.

A técnica de escore de propensão para o vizinho mais próximo mostra a significância da variável de interesse em relação aos blocos de propensão analisados. Percebe-se, portanto, que todas as variáveis possuem valores abaixo de 5%, o que demonstra a significância das variáveis para analisar o impacto por esta técnica.

O efeito tratamento teve uma diferença grande entre as abordagens para o gasto per capita com meio ambiente, com o valor de 6.170 para a análise sem as variáveis explicativas, no valor 2.099 para o efeito utilizando a abordagem do vizinho mais próximo e 7261 para a abordagem de Kernel. Ainda, houve uma diferença enorme entre os achados da atts, attnd e attk, para a variável de compensação financeira pela utilização de recursos hídricos.

Partindo do pressuposto de significância, é possível observar que o PIB per capita dos municípios atingidos pela lama é 3.550 menor que os municípios de controle. Cabe destacar, que o valor do coeficiente foi dado pela técnica do vizinho mais próximo, o que demonstra uma grande diferenciação para municípios estatisticamente parecidos. Em consonância ao PIB, os municípios tratados tiveram um aumento de 2% no número per capita de famílias com até ½ salário mínimo em comparação ao grupo de controle, mostrando uma tendência de piora nos indicadores socioeconômicos.

Em contrapartida, os gastos com meio ambiente e o esforço orçamentário cresceram, respectivamente, 631% e 32%, em comparação aos municípios que não foram atingidos. Isto indica uma presença de novas transferências para enfrentamento das crises geradas pelo desastre ecológico. O Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC) e o Termo de Ajustamento de Conduta de Governança (TACG), visam auxiliar principalmente na reparação, principalmente, de danos socioeconômicos dos municípios atingidos (Roland *et al.*, 2018). Por fim, a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos foi menor em 179.810,00 para os municípios atingidos pela lama. Este número demonstra uma queda exorbitante na arrecadação de recursos próprios proveniente de indenizações por empresas de luz, como aconteceu com a Usina Hidrelétrica de Candonga, por exemplo, no município de Rio Doce.

De forma complementar, o próximo tópico aborda a análise dos resultados a partir da técnica de diferenças em diferenças. Em vez de comparar os resultados entre os grupos de tratamento e de comparação após a intervenção, o método diferença em diferenças compara as tendências entre os grupos de tratamento e de comparação ao longo do tempo (Gertler *et al.*, 2018). A tendência entre os grupos nada mais é do que a diferença no resultado para os municípios antes e após o rompimento da barragem.

4.1.2 *Diff in Diff*

Neste tópico, utilizou-se o modelo de regressão descrito nos procedimentos metodológicos para auxiliar na análise das diferenças dos resultados. Os dados encontrados estão dispostos na tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Análise de Impacto pelo *Diff in Diff*

Variáveis/Teste	Diff in Diff		Test t
	Diff in Diff	P-valor	Diff ttest (média)
Pib Per Capita (em 1000,00)	-5,10	0,018	2049,62 (rejeito H0)
Número de Famílias per capita até ½ salários mínimos	0,010	0,043	-0,10 (rejeito H0)
Gasto per capita com meio ambiente	4,26	0,355	-7,83 (rejeito H0)
Esforço Orçamentário em Meio Ambiente	0,098	0,579	-0,34 (rejeito H0)
Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (em 1000,00)	-265,617	0,000	96,20 (Rejeito H0)

Fonte: Elaboração Própria

Inicialmente, percebeu-se que as variáveis de gasto per capita com meio ambiente e esforço orçamentário em meio ambiente não foram significativas para um valor de aceitação de 95%. Já as variáveis significativas foram analisadas em quatro quadrantes: municípios atingidos pela lama (antes e depois do desastre) e municípios não atingidos pela lama (antes e depois do desastre), sendo possível avaliar o impacto do rompimento da barragem para ambos grupos, nestes dois momentos específicos de tempo.

O PIB per capita tem uma diferença negativa de 5100,00 de antes do desastre para depois, o que demonstra uma queda acentuada no desenvolvimento local dos municípios atingidos em comparação aos não-atingidos. Neste sentido, é possível inferir que o aporte financeiro estadual e o pagamento de indenizações por parte da empresa responsável pela barragem não seguiram em proporção as necessidades locais, o que provocou um desequilíbrio no desenvolvimento entre os entes. Na mesma linha, a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos cresceu negativamente em 265.617,00. Para ambos os casos, percebe-se uma miopia quando se analisa somente a diferença de média dos grupos pelo teste t, mas com valores um pouco mais aproximados para o PIB per capita.

Ainda, o número per capita de famílias com recebimento de até ½ salários mínimos para os dependentes cresceu 1% dos municípios atingidos para os não-atingidos, após o rompimento da barragem.

4.2 Discussões

Inicialmente, percebeu-se que o rompimento da barragem de Fundão impactou negativamente o PIB per capita ao longo do tempo. Em consonância, Bradshaw (2003) destaca que o produto interno bruto pode ser prejudicado pela queda na produção de bens e serviços, mas que a reconstrução permite a volta do desenvolvimento local. Da mesma forma, Marulanda et al. (2010), Ishizawa e Miranda (2019) e Markhvida *et al.* (2020), afirmaram que foram inúmeros os impactos adversos no produto interno bruto per capita em cidades atingidas por desastres, com um agravante para o primeiro caso na

Colômbia, onde a maior parte dos atingidos não recebeu nenhuma ajuda substancial pós-desastre para recuperação e desenvolvimento.

Bradshaw (2003, p.30) relata que “os gastos do setor público geralmente aumentam como resultado de desembolsos feitos durante as fases de emergência e reabilitação ou de subsídios concedidos a grupos populacionais significativamente afetados”. Mesmo sem ser o foco central desta pesquisa, foi possível perceber algum esforço governamental a partir do TTAC e do TACG. Contudo, a compensação financeira por utilização dos recursos hídricos é extremamente menor para os municípios atingidos, o que demonstra uma diminuição clara nos valores arrecadados, podendo explicar a queda no desenvolvimento local.

Roland *et al.* (2018) afirmam que mesmo com os termos governamentais, o objetivo de mitigação dos danos causados pode estar enviesado pelas empresas contratadas para avaliar o impacto do rompimento da barragem, em virtude das mesmas terem sido escolhidas em uma negociação entre o Ministério Público e as empresas responsáveis pela barragem. A menor arrecadação por parte dos municípios atingidos e o viés no objetivo central dos termos contrapõe-se aos autores Marulanda, Cardona e Barbat (2010), quando, num ponto de vista social e microeconômico, afirmam que os desastres devem ser acompanhados de perto pelos formuladores e avaliadores de políticas públicas.

146

Neste sentido, a diferença negativa no PIB per capita e na arrecadação própria dos municípios atingidos podem explicar o aumento no número per capita de famílias com a renda per capita de até ½ salário mínimo. Os achados vão de encontro aos resultados de Islam e Khan (2018), quando estes afirmam que as ameaças socioeconômicas a partir dos desastres ambientais estão diretamente relacionadas com a baixa renda, a pobreza, o desemprego, a falta de seguridade social, os riscos à saúde e principalmente à falta de perspectiva de solução. Da mesma forma, Dolman *et al.* (2018) afirmaram que as enchentes em Rio Branco, no Acre, afetaram diretamente a agricultura e consequentemente a renda das famílias.

Em relação à propagação dos danos causados pelo rompimento da barragem entre as áreas locais devido às interconexões econômicas dos sistemas de produção, percebeu-se que algumas situações como o desalojamento de várias comunidades que viviam próximas ao local do desastre, além da paralisação de atividades econômicas locais, como a pesca e o turismo, afetou diretamente o consumo, os bens e os serviços oferecidos, conforme apontaram Alves, Carneiro e Paiva (2020), Bertollo (2017), Guimarães e Milanez (2017), em larga escala. Os achados do presente estudo corroboram com os autores supracitados ao evidenciar uma diferenciação no PIB dos municípios atingidos, ao longo do tempo. Este fato mostra, também, a dependência econômica dos municípios para com o setor extrativista, o que dificulta o processo de responsabilização pelos inúmeros danos causados.

O governo pode ser afetado por um aumento nas despesas relacionadas à recuperação do desastre, além de arcar com possíveis indenizações ou incentivos para a retomada das atividades econômicas locais (De Silva; Kawasaki, 2018; Fernandes *et al.*, 2016). Contudo, a partir deste estudo,

somente, não foi possível inferir que os governos locais se esforçaram ou aumentaram os seus gastos para suprir questões ambientais.

Em suma, o rompimento da barragem de Fundão teve efeitos devastadores no meio ambiente e na economia local. As interconexões econômicas entre os sistemas de produção amplificaram o alcance desses danos, afetando diferentes setores e comunidades nas áreas impactadas.

5 Conclusão

No decorrer do artigo foi possível observar que o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, impactou negativamente os indicadores socioeconômicos dos municípios atingidos. Além do impacto direto sobre as vidas e propriedades das comunidades locais, o desastre também gerou efeitos negativos sobre a economia dos municípios afetados. A interrupção das atividades econômicas foi acentuada, especialmente nos setores ligados à mineração, agrícola, turismo e comércio, que são pilares fundamentais para a sustentabilidade econômica dessas regiões e estão relacionadas à capacidade hídrica dos municípios.

147

A diminuição do Produto Interno Bruto (PIB) per capita foi uma das principais consequências. O PIB per capita é um indicador que mede a riqueza média por habitante em uma região, e o rompimento da barragem de Fundão causou uma acentuada queda nesse indicador nos municípios afetados. Outro indicador afetado foi o número de famílias que vivem com até ½ salário mínimo por pessoa (indicador de extrema pobreza). Após o desastre, houve um aumento substancial nesse número, demonstrando que a vulnerabilidade social das famílias aumentou consideravelmente.

Ainda, percebeu-se que os achados reforçam a literatura voltada para análise de desastres, pois estes evidenciam os danos causados e elucidam sobre a necessidade de investimentos em prevenção e mitigação de riscos, bem como em mecanismos de resposta eficientes para reduzir os danos causados por eventos dessa natureza. Percebeu-se, ainda, que existe pouca capacidade de se recobrar facilmente ou se adaptar à má sorte ou às mudanças causadas por desastres como o rompimento da barragem de Fundão.

Os problemas causados pelo rompimento da barragem são inúmeros e seguem o mesmo padrão para outras comunidades atingidas por desastres ao redor do globo. Contudo, além das perdas econômicas, observou-se também, por ser uma análise temporal, uma baixa capacidade de recuperação rápida ou de adaptação às mudanças causadas pelo desastre. Neste sentido, para aumentar o escopo de análise do trabalho, é válido aprofundar nos estudos *in loco*, visitando as cidades atingidas, com a possibilidade de realizar uma avaliação mais aproximada das comunidades e partes interessadas, além da captar novas variáveis de interesse para o modelo.

Algumas inquietações, ainda não passíveis de resposta, emergiram pós-estudo: existiram políticas específicas para as dimensões aqui estudadas? Existe um planejamento comparativo entre a possível arrecadação das cidades e o subsídio governamental/sanção à empresa responsável? Neste

sentido, o presente estudo apresenta-se com limitações acerca do funcionamento das instituições em situações de desastres, principalmente nos processos de ação pós-desastres, pois carece de mais variáveis de interesse para validação da análise micro.

Destaca-se que os impactos no PIB, na arrecadação financeira por utilização de recursos hídricos e na renda familiar foram justificados pelo modelo. Contudo, apesar de existirem mais pesquisas voltadas especificamente para o rompimento da barragem de Fundão, os assuntos a serem abordados ainda não se esgotaram.

6 Referências

ALBERT, O. N.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R. P. Evaluation of the Impacts of Oil Spill Disaster on Communities and Its Influence on Resilience in Niger Delta, Nigeria. **Procedia Engineering**, 7th International Conference on Building Resilience: Using scientific knowledge to inform policy and practice in disaster risk reduction. v. 212, p. 1054–1061, 1 jan. 2018.

148 ALVES, F. I. A. B; CARNEIRO, C. M. B; PAIVA, D. A. Os efeitos do desastre ambiental de Mariana sobre a reputação da Samarco Mineração SA. **REUNIR - Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 10, n. 4, p. 69 89, 2020.

AMINI HOSSEINI, K.; HOSSEINIOON, S.; POOYAN, Z. An investigation into the socioeconomic aspects of two major earthquakes in Iran. **Disasters**, v. 37, n. 3, p. 516–535, 2013.

BECKER, S. O.; Ichino, A. Estimation of average treatment effects based on propensity scores. **The stata journal**, v. 2, n. 4, p. 358–377, 2002.

BERTOLLO, K et al. **Mineração e superexploração da força de trabalho**: análise a partir da realidade de Mariana-MG. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BONDONIO, D.; Greenbaum, R. T. Natural disasters and relief assistance: Empirical evidence on the resilience of US counties using dynamic propensity score matching. **Journal of Regional Science**, v. 58, n. 3, p. 659-680, 2018.

BOTELHO, M. R. et al. Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 46, 2021.

BRADSHAW, S. **Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters**. United Nations, ECLAC & International Bank for Reconstruction & Development, 2003.

BRASIL. **Decreto nº 9.759, de 11 de abril de 2019**. Extingue e estabelece diretrizes, regras e limitações para colegiados da administração pública federal, Brasília, v. 01, 11 abr. 2019. p. 1. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019/2022/2019/decreto/d9759.htm>. Acesso em: 02 ago. 2023.

CARVALHO, M. M.; OLIVEIRAA, S. S. Aspectos psicossociais em desastres socioambientais de origem geoclimática: uma revisão integrativa da literatura. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 334-352, 2021.

CERULLI, G. et al Econometric evaluation of socio-economic programs Theory and applications. **Advanced studies in theoretical and applied econometrics series**, v. 49, p. 198-199, 2015.

149

DANIELS, L.; MINOT, N. **An Introduction to Statistics and Data Analysis Using Stata®: From Research Design to Final Report**. Nova Iorque: Sage Publications, 2019.

DE SILVA, M. M. G. T.; Kawasaki, A. Socioeconomic Vulnerability to Disaster Risk: A Case Study of Flood and Drought Impact in a Rural Sri Lankan Community. **Ecological Economics**, v. 152, p. 131–140, 1 out. 2018.

DOLMAN, D. I. et al. Re-thinking socio-economic impact assessments of disasters: The 2015 flood in Rio Branco, Brazilian Amazon. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 31, p. 212–219, 1 out. 2018.

FARIA, M.; BOTELHO, M. O rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, Brasil: a incubação de um acidente organizacional. **Methodology**, v. 1, p. 9, 2018.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35–45, 2016.

FERREIRA, B.M. P et al. Socio-environmental disasters and their impacts: socioeconomic consequences of the oil spill in the northeast region of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, p. e20210399, 2022.

FONTES, R. N.; LOPES, I. DA S. As representações da mídia sobre o rompimento da barragem do Fundão em Mariana, Minas Gerais. **Espacios**, v. 38, n. 34, p. 32–46, 2017.

FREITAS, C. M. De et al. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, 20 maio 2019.

GERTLER, P. J. et al. **Avaliação de Impacto na Prática**, Segunda edição. Washington, DC: World Bank Publications, 2018.

GUIMARÃES, C. L; MILANEZ, B. Mineração, impactos locais e os desafios da diversificação: revisitando Itabira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, 2017.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman editora, 2009.

HAMILTON, L. C. **Statistics with Stata: version 12**. Boston: Cengage Learning, 2012.

150

HOFFMANN, R.; BLECHA, D. Education and Disaster Vulnerability in Southeast Asia: Evidence and Policy Implications. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1401, jan. 2020.

IBAMA. Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG. 2022.

INOUE, Y.; HAVARD, C. T. Sport and disaster relief: A content analysis. **Disaster Prevention and Management**, v. 24, n. 3, p. 355-368, 2015.

ISHIZAWA, O. A.; MIRANDA, J. J. Weathering storms: Understanding the impact of natural disasters in Central America. **Environmental and Resource Economics**, v. 73, n. 1, p. 181–211, 2019.

ISLAM, M. R.; KHAN, N. A. Threats, vulnerability, resilience and displacement among the climate change and natural disaster-affected people in South-East Asia: an overview. **Journal of the Asia Pacific Economy**, v. 23, n. 2, p. 297–323, 2018.

KHANDKER, S. R.; KOOLWAL, G. B.; SAMAD, H. A. **Handbook on Impact Evaluation: Quantitative Methods and Practices**. Washington, DC: World Bank Publications, 2009.

KOBIYAMA, Masato et al. **Prevenção de desastres naturais:** conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LABONNE, B. Mining dam failure: Business as usual? **The Extractive Industries and Society**, v. 3, n. 3, p. 651–652, 1 jul. 2016.

LACAZ, F. A. De C.; PORTO, M. F. De S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 42, 2017.

MARKHVIDA, M. et al. Quantification of disaster impacts through household well-being losses. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 7, p. 538–547, jul. 2020.

MARULANDA, M. C.; CARDONA, O. D.; BARBAT, A. H. Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. **Disasters**, v. 34, n. 2, p. 552–570, 2010.

151

MERCER, J. et al. Culture and disaster risk reduction: Lessons and opportunities. **Environmental Hazards**, v. 11, n. 2, p. 74–95, 1 jun. 2012.

PADLI, J.; HABIBULLAH, M. S.; BAHAROM, A. H. The impact of human development on natural disaster fatalities and damage: Panel data evidence. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 31, n. 1, p. 1557-1573, 2018.

PASSOS, F. L.; COELHO, P.; DIAS, A. (Des) territórios da mineração: planejamento territorial a partir do rompimento em Mariana, MG. **Cadernos Metrôpole**, v. 19, p. 269-297, 2017.

PERERA, E. N. C. et al. Direct impacts of landslides on socio-economic systems: a case study from Aranayake, Sri Lanka. **Geoenvironmental Disasters**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2018.

PEREZ, L. P. et al. Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 3, p. 260-296, 2020.

PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG**, v. 24, n. 1–2, 2015.

REZENDE, E. De A.; PORTELLA, S.; OLIVEIRA, S. S. O rejeito e suas diversas marcas: saúde dos trabalhadores da Defesa Civil no rompimento da barragem de Fundão. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 272–283, 2021.

ROJAS, C. M. O.; PEREIRA, D. B. As veias continuam abertas: o rompimento da barragem de Fundão/MG e o modus operandi da Samarco (Vale/BHP Billiton). **Lutas Sociais**, v. 22, n. 41, p. 223–236, 2018.

ROLAND, M. C. et al. Negociação em contextos de violações de Direitos Humanos por empresas: uma breve análise dos mecanismos de solução negociada à luz do caso do rompimento da barragem de Fundão. **Versos**, v. 2, n. 1, p. 325, 2018.

ROSENBAUM, P. R.; RUBIN, D. B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 41–55, 1983.

RUSH, J. V. The impact of natural disasters on education in Indonesia. **Economics of disasters and climate change**, v. 2, n. 2, p. 137–158, 2018.

SOUZA, B. A et al. Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 17, n. 31, 2015.

WICKER, P.; FILO, K.; CUSKELLY, G. Organizational Resilience of Community Sport Clubs Impacted by Natural Disasters. **Journal of Sport Management**, v. 27, n. 6, p. 510–525, 1 nov. 2013.

Analysis of the impact of the Fundão dam failure on the socioeconomic and sustainable indicators of the affected municipalities

ABSTRACT: The rupture of the ore tailings dam that occurred on November 5, 2015, in the city of Mariana, in Minas Gerais, was one of the biggest ecological disasters in the history of Brazil. About 45 million cubic meters of tailings were discharged into the environment, with no prospect of mitigating the environmental impact by the dam maintainer, which confronts the bureaucratic sustainability criteria imposed by the federal, state and municipal governments. In view of this scenario, the objective is to analyze the impact of the dam rupture on the socioeconomic and sustainability indicators of the municipalities in Minas Gerais directly affected by the tailings, as opposed to those not located nearby. By using the factorial analysis methods for agglutination of the variables and the tests of propensity scores and differences in differences for the comparative analysis between the municipalities, it was possible to perceive that the per capita GDP is much lower among the affected municipalities, which shows a low local development among them. Furthermore, these municipalities have a higher concentration of families with an income of up to ½ the minimum wage and less financial compensation for the use of water resources. In order to support theoretical and empirical discussions on the management of municipalities affected by tailings from the Fundão dam, the present work becomes relevant when comparatively analyzing the socioeconomic indicators between the municipalities affected (treated) and all others in Minas Gerais (control), in order to contribute to the identification of critical points of municipal development over the years.

KEYWORDS: Socioeconomic indicators; Sustainability; Propensity scores; Differences in differences; Environment disasters.

Análisis del impacto de la ruptura de la presa de Fundão en los indicadores socioeconómicos y sostenibles de los municipios afectados

RESUMEN: La ruptura de la presa de relaves de mineral ocurrida el 5 de noviembre de 2015, en la ciudad de Mariana, en Minas Gerais, fue uno de los mayores desastres ecológicos en la historia de Brasil. Alrededor de 45 millones de metros cúbicos de residuos fueron liberados al medio ambiente, sin perspectivas de mitigación del impacto ambiental por parte de la empresa responsable de la presa, lo que contrasta con los criterios burocráticos de sostenibilidad impuestos por el gobierno federal, estatal y municipal. Ante este escenario, el objetivo es analizar el impacto de la ruptura de la presa en los indicadores socioeconómicos y de sostenibilidad de los municipios de Minas Gerais directamente afectados por los residuos, en comparación con los no afectados. Al utilizar métodos de análisis factorial para la agrupación de variables y pruebas de puntajes de propensión y diferencias en diferencias para el análisis comparado entre los municipios, se pudo observar que el PIB per cápita es significativamente menor entre los municipios afectados, lo que indica un bajo desarrollo local entre ellos. Además, estos municipios tienen una mayor concentración de familias con ingresos de hasta ½ salario mínimo y una menor compensación financiera por el uso de recursos hídricos. Para apoyar discusiones teóricas y empíricas sobre la gestión de los municipios afectados por los residuos de la presa de Fundão, el presente trabajo se vuelve relevante al analizar comparativamente los indicadores socioeconómicos entre los municipios afectados (tratados) y todos los demás de Minas Gerais (control), contribuyendo así a la identificación de puntos críticos del desarrollo municipal a lo largo de los años.

PALABRAS CLAVE: Indicadores socioeconómicos; Sostenibilidad; Puntajes de propensión; Diferencias en diferencias; Desastres ambientales.